

単スパン合成桁の床版部分打ち換え時のステップ解析

Step Analysis at Partial Replacement of Single Span Composite Spar

(株) 砂子組	○正 員	戸井田真之介 (Shinnosuke Toida)
(株) 砂子組	非会員	男澤 真樹 (Masaki Ozawa)
(株) 砂子組	非会員	丸山 欣一 (Kinichi Maruyama)
(株) 砂子組	正 員	田尻 太郎 (Tarou Tajiri)
(株) 砂子組	正 員	近藤 里史 (Satoshi Kondou)

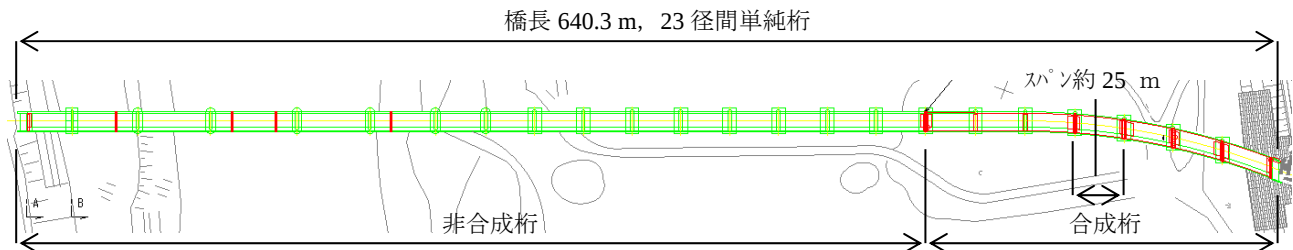


図-1 平面図

1. はじめに

合成桁橋の解体・床版打ち換えにおいては、合成効果により床板が負担していた断面力（応力）の開放は無視できないと考えられる。例としてあげる橋梁は、竣工1962年から54年以上供用されてきた、橋長640.3 mの23径間単純桁3主桁橋である。図-1に示すように23径間の内7径間が合成桁であり、スパンは約25 mとなる。

当該橋梁は旧示方書に基づいた設計で、図-2に示すように合成桁部の桁間隔約3.25 mに対して床板厚は18

cmと現行示方書¹⁾の規定では不足し、端部において打ち下ろしされず、また端対傾構がV型であった。このため特に桁端における損傷が大きく、桁端から2.5～5 mの範囲の床版・舗装を打ち換える運びとなった。床版・舗装の打ち換えに先立って、V型から逆V型への端対傾構の交換も行った。

2. 橋歴

竣工時および現在にいたるマイクロ資料の調査により、

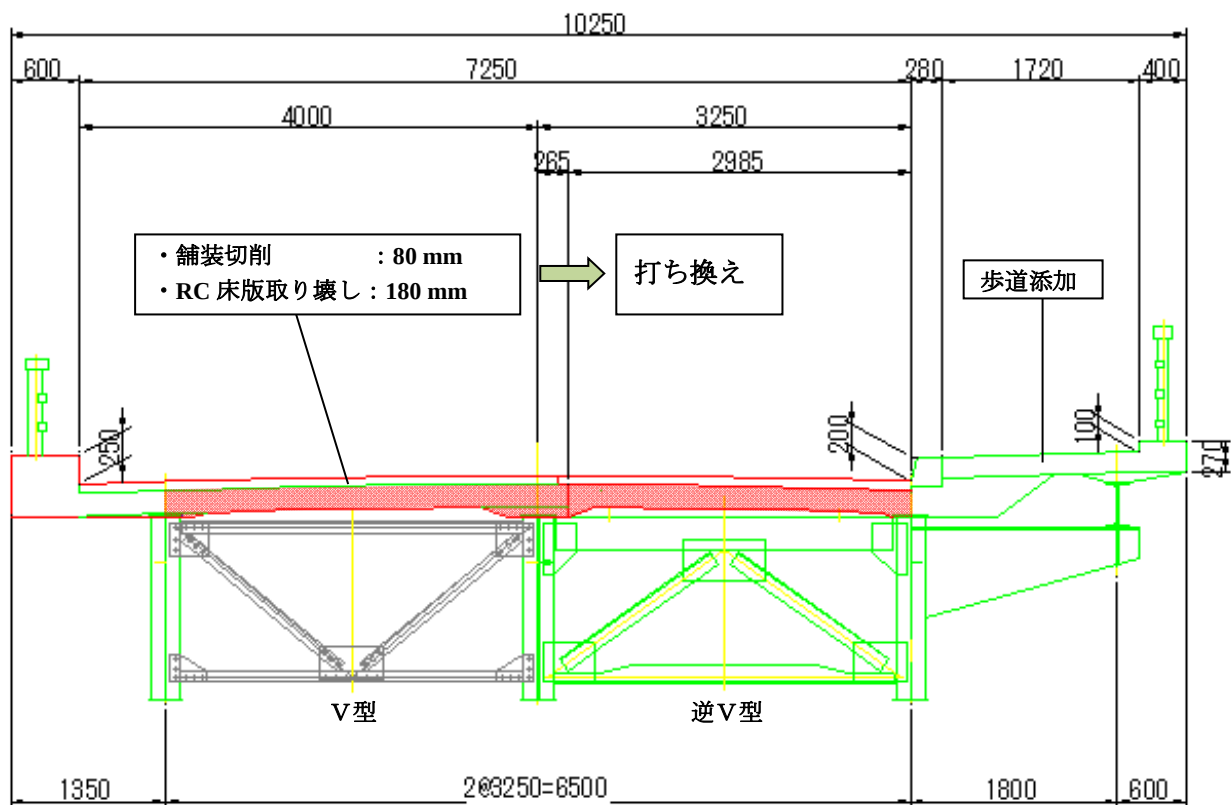


図-2 代表断面

当該橋梁は表-1 に示す橋歴を持つことが明らかとなった。

表-1 橋歴（施工ステップ）

構造系	合成／非合成
主桁架設	非合成
主桁＋対傾構	
主桁＋対傾構＋床板打設	
主桁＋対傾構＋床板打設＋舗装＋地覆＋高欄	合成
供用開始	
主桁＋対傾構＋床板打設＋舗装＋地覆＋高欄＋歩道添加	

表-1 より、床板打設までの段階が非合成完成形であるので、舗装、地覆、高欄による死荷重は合成作用のもとに床板と主桁で分担負担される。この段階の合成桁を橋梁形式として活荷重合成桁と呼んでいた時期もあったが²⁾、当時も設計内容は死活荷重合成桁で計算されていた。舗装、地覆、高欄による重量は床版重量の約 60% に達し、現在では当然ながら死活荷重合成桁に分類される。供用開始はこの時点であるが、その後、図-2 の歩道部分（ブラケット含む）の添加を受けたため、合成後の死荷重増加は床版重量の約 90%に及び、死活荷重合成桁として扱う必要性があると判断するにいたった。

3. 解析モデル

図-3 に解析モデルを示す。主桁および対傾構と横構の部材は梁要素とし、それらを剛体要素で連結して立体構造をモデル化した。合成後の床版剛性は、現行示方書¹⁾による有効幅分を主桁剛性に組み入れて解析する。

主桁についてはねじりも考慮し、添加される歩道とブラケット重量は、外桁への線分布荷重および集中荷重として考慮した。

4. ステップ解析における解析方法

施工ステップに従った合成桁のステップ解析を行う場合、主桁剛性がステップごとに変化し、また合成される床版等は、打設時には応力負担を行わないと考えられるため、ステップごとの荷重増分（減少）を解析し、応力増分を直前のステップまでの応力に加えて集計する必要がある。

加えて今回は床版打ち壊しを考慮するので、打ち壊し時点で床版が負担していた断面力を、開放力として残存構造系に逆向きに作用させ（最もクリティカル）、その後、床版撤去分の重量を残存構造系から除荷する手順となる。そのために少なくとも、図-4 に示す 13 ステップの解析が必要となった。

各施工ステップでは、剛性変化、合成／非合成、応力負担の有無の別を考慮して、図-4 の床版の各エリア、および主桁ごとに断面力を集計し、集計断面力から主桁応力を算出した。

5. 解析結果

施工ステップの中から図-3 の床版撤去範囲 2.5 m のケースについて、ポイントとなる結果を抽出して述べる。

(1) 床版打設時（非合成完成形）

主桁曲げ応力度は、 $\sigma_a = 140 \text{ N/mm}^2$ （鋼種 SM400）

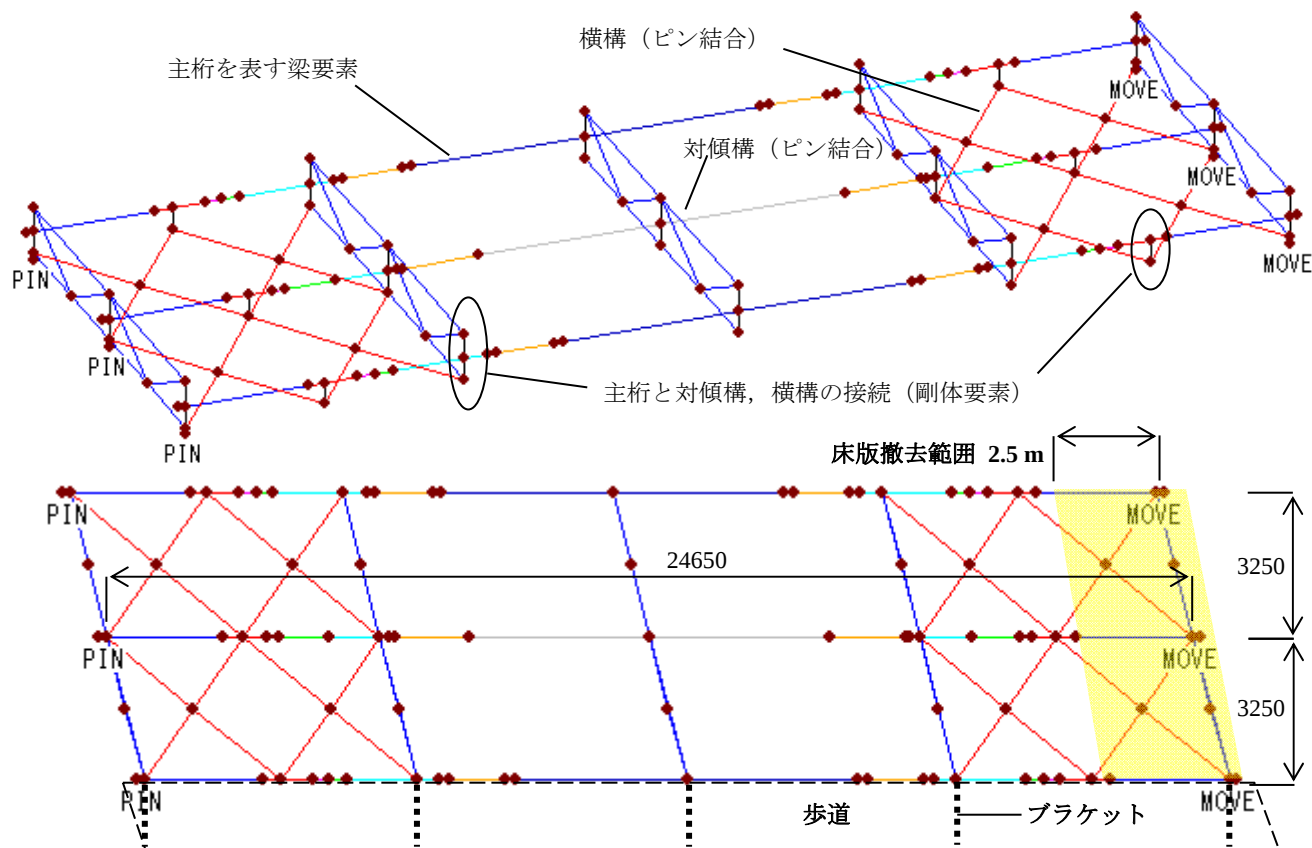


図-3 解析モデル

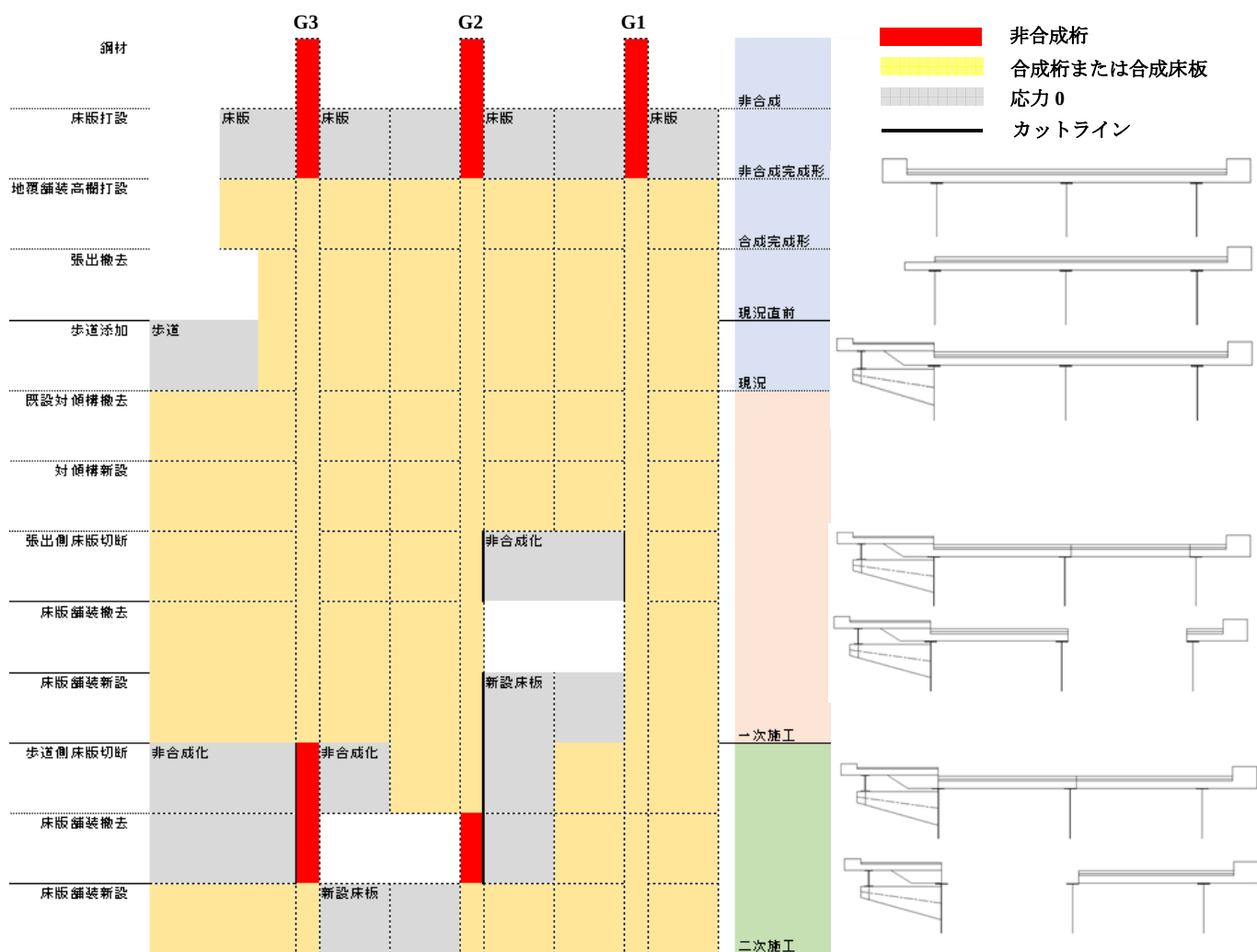


図-4 施工ステップ時系列および断面力集計エリア

に対して妥当な範囲となったが、対傾構間隔が 6.25 m と大きく、端部の許容横倒れ座屈応力度は現行示方書の適用範囲外となった。また径間中央では、腹板の許容局部座屈応力度の最大 2 倍の応力超過となった。当橋梁は S31 年の規定³⁾に基づいていると考えられ、当時の規定では横倒れ座屈に関する制限が現在より緩く、局部座屈照査はなかったため許容されたと考えられる。現在では架設できない橋である。

(2) 供用開始時（合成完成形）

舗装、地覆、高欄による死荷重増加は 60%であるが、合成効果で主桁応力増加は 5%である。合成状態のため横倒れ座屈は無視できる。径間中央では応力勾配の変化により、腹板の許容局部座屈応力度の 20～40%程度の応力超過に改善されるものの、現在ではやはり架設できない橋である。

(3) 歩道添加時（打ち換え施工前現況）

この時点で合成後死荷重の増加は 90%に達する。影響は歩道添加された G3 桁に集中し、約 2 割の応力増加。

径間中央での腹板の許容局部座屈応力度超過は、応力勾配の変化のため、10%程度に改善される。他の桁の応力に大きな変化はみられない。

(4) G1 側床版撤去時

撤去準備として床版を切断するが、切断はハンチを残す範囲で行われるため、G1, G2 桁の剛性低下は約 2 割以内にとどまり、床版撤去によるモーメント減少が開放力の影響より大きい事、床版が切断されても G1, G2 桁はまだ合成状態にあるため、主桁応力への影響は小さい。

(4) G3 側床版撤去時

撤去準備として床版を切断した時点で G3 桁は完全に非合成化され、曲げ剛性は 1/5 に、ねじり剛性は 1/5000 に低下する。そのため開放力の影響は床版重量減少の効果より大きく、端部の床版撤去範囲で曲げ応力度は約 1 割増加するが、非合成化にともなう許容横倒れ座屈応力度は超過しなかった。

ねじり応力については、非合成化でねじり剛性が極端に減少し、G3 のねじり応力は許容せん断応力度の 4 倍の応力超過となった。歩道添加時の G3 桁への影響は、合成効果に隠れて大きなものではなかったが、非合成化される事により大きく顕在化したものと考えられる。

6. 実施工における対策

事前の施工ステップ解析で床版撤去の影響として問題となったのは、歩道添加を受けた G3 桁のねじり応力の

極端な増加である。また割愛したが、撤去範囲 5 m のケースに対して同様な解析を行った結果、曲げ応力増加はより大きく（約 2 割）、横倒れ座屈の発生も懸念された。

以上より実施工では、G3 側床版撤去の影響を G1 側床版撤去と同程度にとどめるために、床版はハンチ上を残す形で G3 を完全に非合成化せずに切断・撤去する事とした。これにより G3 桁の曲げ剛性は合成状態の約 1/3 に減少するものの、ねじり剛性は鋼材のみの時の 80 倍程度は確保され、極端な曲げ応力、ねじり応力の増加は発生しないと判断できた。

少なくとも主桁に関しては、構造系に大きな変化を及ぼす事無く、床版打ち換え施工を完了できたと考えられる。

7. まとめ

合成桁の床版撤去（補修／補強）・解体において懸念されるのは、いずれも非合成化に起因する、床版断面力開放と剛性低下による主桁曲げ応力の増加、横倒れ座屈の発生、極端なねじり剛性低下によるねじり応力の増大である。

特に開断面のねじり剛性は、部材展開長×部材厚の 3 乗で与えられるので、主桁鋼材に対して大きな厚さと展開長を持つ床版コンクリート断面の消失は、少なくとも計算上はねじり応力を極端に増加させる可能性があり、斜角を有する合成桁などでは、合成時に微小だったねじり応力が非合成後に、突然無視できなくなる可能性は常にあると思われる。

さらに補修／補強・解体によって床版撤去を受ける橋梁は供用年月の長いものが多く、今回のように竣工時の設計の基準・規定が古いために、現在では必要な照査がなされていない、竣工時の基準・規定の許容範囲が現在より広い等により、現在では架設できない橋になっている可能性も無視できない。

対象橋梁の橋歴を十分に調査し、マイクロ資料等に当たるのは必須と考えられる。

次に、活荷重合成桁と死荷重合成桁の分類であるが、昭和 40 年の(社)日本道路協会の指針²⁾ 1 章総則. 定義 2 条に、次の条文がある。

1. 1 活荷重合成ゲター主として活荷重に対して合成ゲタとして作用するゲタであつて、版の重量を鋼ゲタのみでうけさせるもの。
1. 2 死荷重合成ゲター死荷重の全部または大部分と活荷重とに対して合成ゲタとして作用するゲタ。

上記定義 1. 1 に従えば、床版打設までを非合成完成形とする現在最も多いと思われる合成桁は、合成後に舗装、地覆、高欄に関する死荷重が増加するが、この規定では活荷重合成桁に分類される。しかしながら経験的に舗装、地覆、高欄の重量は床版重量の 50%程度に達するのが普通であり、先に述べた合成桁の非合成化にとも

なう懸念事項と、補修／補強・解体を受ける橋梁の供用年月の長さを考慮すれば、現在では当然の事ながら死荷重合成桁として設計すべきである⁴⁾。

今回の例では、いわゆる活荷重合成桁として供用された後にさらに歩道添加され、死荷重増加は床版重量の 90%に達するので、明らかに 1. 2 の条件を満たす死荷重合成桁と考えられるが、このような合成桁に関しても 1. 1 のみ適用され、1. 2 は無視される傾向があると思われる。

[参考文献]

- 1) 道路橋示方書. 同解説. 鋼橋編, 日本道路協会, 平成 24 年 3 月.
- 2) 鋼道路橋の合成ゲタ設計施工指針, 日本道路協会, 昭和 40 年 6 月.
- 3) 鋼道路橋設計示方書, 日本道路協会, 昭和 31 年 5 月.
- 4) 施工と維持管理に配慮した鋼橋設計時の留意点, 日本橋梁建設協会, 平成 26 年 6 月.